Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 741-753

Correlation Evaluation and Path Coefficient Analysis of Traits Related to Fruit Yield in Iranian Pepper (*Capsicum annum* L.) Populations

M. Jabbari[1*], R. Darvishzadeh[2]

Received: 05-11-2022
Revised: 03-12-2022
Accepted: 24-12-2022
Available Online: 24-12-2022

How to cite this article:
Jabbari, M., & Darvishzadeh, R. (2023). Correlation evaluation and path coefficient analysis of traits related to fruit yield in Iranian pepper (*Capsicum annum* L.) populations. *Journal of Horticultural Science, 37*(3), 741-753. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.79460.1205

Introduction

Pepper is a rich source of essential vitamins and minerals. Like tomatoes, pepper plays an important role in preventing heart diseases due to its high amount of antioxidants. Fruit yield is a complex trait that is not only controlled by several genes, but also greatly influenced by the environment. On the other hand, fruit yield is affected by a large number of other traits and their interaction. Therefore, it is very important for plant breeders to know the relationships between these traits and their interaction effects. The path coefficient analysis is a method that clarifies the relationships between traits and their direct and indirect effects on fruit yield. In this method, the correlation coefficient between two attributes is divided into components that measure direct and indirect effects. Considering the limited studies regarding the evaluation of relationships between fruit yield and other traits affecting fruit yield in pepper, this research was conducted with the aim of identifying these important relationships and evaluating their direct and indirect effects in Iranian pepper populations.

Materials and Methods

In order to carry out this research, the seeds of 30 Iranian pepper accessions were collected directly from the farmers. The experiment was conducted in the form of pot cultivation in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture of Urmia University in a completely randomized design with five replications during 2015-2016. After the flowering stage, the desired traits were estimated. Variance analysis was estimated, after examining the basic hypotheses of variance analysis by SAS9.4, as well as the genotypic and phenotypic correlation between traits based on the restricted maximum likelihood (REML) procedure in the SAS9.4 software. Step-by-step regression analysis was used to determine the traits with the most variation justified the fruit yield. The Durbin-Watson test was performed to investigate the independence of experimental errors. Analysis of path coefficients was performed based on the results of stepwise regression and genotypic correlation of traits in the R V.4.0.5.

Results and Discussion

In order to understand the relationships between traits and use them in breeding programs, the phenotypic correlation was estimated. In this study based on the results of phenotypic correlation, leaf width and leaf length (0.651), single fruit weight and fruit circumference (0.784), fruit circumference and fruit diameter (0.625) and pulp weight and fruit diameter (0.610), showed positive and significant correlation. The purpose of estimating genotypic correlation coefficient is to determine relationships in conditions which in environmental factors are

1- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Sistan and Baluchestan, Iran
(*- Corresponding Author Email: jabbari.mitra2@gmail.com)
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
https://doi.org/10.22067/jhs.2022.79460.1205

not involved. In the investigation of genotypic correlation, a positive, strong and significant relationship between fruit yield and pulp weight (0.907), fruit circumference (0.891), fruit diameter (0.697), single fruit weight (0.646) and around the plant (0.381) were observed. Given that most of these traits are factors contributing to fruit yield, the presence of such positive and significant genotypic correlation coefficients is reasonable. It can be inferred that pepper accessions with higher fruit characteristics, encompassing factors such as plant density and branching, are likely to exhibit higher fruit yields as well. It's important to note that correlation coefficients are mathematical tools used to measure the linear relationship between two variables. Their significance lies in their mathematical interpretation, and as such, they alone do not provide sufficient proof of a cause-and-effect relationship. Utilizing the results of stepwise regression, less impactful traits or those with minimal effects were eliminated from the model. As a result, seven key traits were identified as the most influential factors affecting fruit yield: pulp weight, plant density, fruit diameter, fruit count, plant height, total seed weight, and branch count.The first characteristic was pulp weight, which was included in the model and explained 78.8% of the fruit yield changes between genotypes. The second characteristic (around the plant) along with pulp weight explained 80.9% of the fruit yield variations. Fruit diameter, together with the previous two characteristics, explained 81.5% of fruit yield variations. In total, the traits included in the model for fruit yield justified 84.6% of the total changes in fruit yield in 30 pepper accessions. In order to better understanding and more accurately interpret of the results, as well as to know the direct and indirect effects and the effect of the traits that were entered into the model through stepwise regression, the path coefficient analysis method was used in this research. Fruit diameter (0.709) and pulp weight (0.289) respectively showed the most positive and direct effect on fruit yield. Fruit pulp weight through fruit diameter had the most positive indirect effect (0.595) on fruit yield. Around the plant showed an indirect positive effect on fruit yield through pulp weight (0.157), fruit diameter (0.392) and number of branches (0.080).

Conclusion

In the present study, the trait of fruit diameter had a positive, strong and significant genotypic correlation (0.697) with fruit yield, and it also showed a positive direct effect (0.709) on fruit yield, these two coefficients can be considered equal, Approximately. Therefore, direct selection based on fruit diameter proves to be a valuable strategy for enhancing fruit yield. The magnitude of residual effects serves as an indicator of the model's accuracy in path analysis. When this value is substantial, it may be advisable to incorporate additional causal variables into the model. In the current study, the residual effects value (0.213) affirms the model's optimal accuracy.This research highlights the effectiveness of employing stepwise multivariate regression and path coefficient analysis to gain a deeper understanding of the fundamental relationships between traits. It underscores that relying solely on correlation relationships is insufficient for comprehensively justifying the associations between these traits.

Keywords: Fruit yield, Path coefficient analysis, Pepper, Stepwise regression

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۲، ص. ۷۵۳-۷٤۱

ارزیابی همبستگی و تحلیل ضرایب مسیر صفات مرتبط با عملکرد میوه در توده‌های فلفل (*Capsicum annum* L.) ایرانی

میترا جباری[۱*] - **رضا درویش زاده**[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳

چکیده

با توجه به اهمیت اقتصادی عملکرد میوه و لزوم انتخاب گیاهان با بهره‌وری بالا در برنامه‌های به‌نژادی، پژوهش حاضر به منظور تعیین ویژگی‌های مورفولوژیک تأثیرگذار در عملکرد میوه و ارزیابی اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها در ۳۰ توده‌ی فلفل ایرانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار به صورت گلدانی در محل گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه طی سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ اجرا گردید. نتایج حاصل از همبستگی‌های فنوتیپی نشان داد که عملکرد میوه دارای همبستگی مثبت و معنی دار با صفات قطر میوه، دور میوه، وزن گوشت و وزن تک میوه بود، اما صفات تعداد میوه و طول میوه همبستگی فنوتیپی منفی و معنی‌داری با عملکرد میوه داشتند. در بررسی همبستگی ژنتیکی، رابطه مثبت، قوی و معنی‌داری بین عملکرد با وزن گوشت میوه (۰/۹۰۷)، دور میوه (۰/۸۹۱)، قطر میوه (۰/۶۹۷)، وزن تک میوه (۰/۶۴۶) و دور بوته (۰/۳۸۱) مشاهده گردید. بر اساس نتایج رگرسیون گام به گام برای عملکرد میوه هفت صفت وزن گوشت، دور بوته، قطر میوه، تعداد میوه، ارتفاع بوته، وزن کل بذر و تعداد شاخه به عنوان مؤثرترین صفات بر عملکرد میوه وارد مدل شدند که در مجموع ۸۴/۶ درصد از تغییرات کل عملکرد میوه را توجیه نمودند. بر اساس نتایج تجزیه مسیر صفات قطر میوه (۰/۷۰۹) و وزن گوشت (۰/۲۸۹) به‌ترتیب بیشترین اثر مثبت و مستقیم را بر عملکرد میوه نشان دادند. قطر میوه دارای همبستگی ژنتیکی مثبت، قوی و معنی‌داری (۰/۶۹۷) با عملکرد میوه بود، همچنین اثر مستقیم مثبت (۰/۷۰۹) بر عملکرد میوه نشان داد که به طور تقریبی می‌توان این دو ضریب را با هم برابر درنظر گرفت. لذا انتخاب مستقیم از طریق صفت قطر میوه می‌تواند در بهبود عملکرد میوه در توده‌های فلفل مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه ضرایب مسیر، رگرسیون گام به گام، عملکرد میوه، فلفل

مقدمه

فلفل با نام علمی (*Capsicum annuum* L.) یک گیاه دیپلوئید با تعداد کروموزوم 2n=24 متعلق به تیره سیب‌زمینی‌سانان (Solanaceae) است، که به عنوان یکی از سبزی‌های پرمصرف در مناطق گرمسیری شناخته می‌شود (Kranthi Rekha, 2015). محققان معتقدند که منشاء فلفل از مکزیک با مراکز ثانویه در گواتمالا و بلغارستان است (Salvador, 2002). فلفل در قرن پانزدهم توسط کلمب به اروپا معرفی شد و در امتداد مسیرهای تجارت ادویه به آفریقا، هند، چین، ژاپن و سایر نقاط جهان گسترش یافت (Kadwey *et al.*, 2016). جنس *Capsicum* از طیف متنوعی از گیاهان و میوه‌ها تشکیل شده است و از نظر مورفولوژی، عملکرد و پارامترهای مربوط به تغذیه بسیار متفاوت است. فلفل به صورت گیاهی یکساله رشد می‌کند، اما می‌توان آن را به عنوان درختچه چندساله در شرایط آب و هوایی مناسب نیز کشت کرد. در میان گونه‌های متنوع فلفل، *Capsicum annuum* L. به دلیل داشتن میوه‌های تُند (فلفل

۱- استادیار دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، سیستان و بلوچستان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jabbari.mitra2@gmail.com)
۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

https://doi.org/10.22067/jhs.2022.79460.1205

تُند) و غیر تُند (فلفل دلمه) بیشترین گونه کشت شده در سراسر جهان را شامل می‌شود (Pandey and Moscone *et al.*, 2007 ; Dobhal, 1993). فلفل منبع غنی برای تأمین ویتامین‌های ضروری و مواد کانی است. از طرفی فلفل حاوی مقادیر بالایی از آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد ضروری مانند ویتامین C (شش برابر پرتقال)، کارتنوئیدها و ترکیب‌های فنولیک است. میوه این گیاه همچنین حاوی غلظت بالایی از پتاسیم می‌باشد (Soltani, 2019). فلفل نیز مانند گوجه‌فرنگی به دلیل داشتن مقادیر بالای آنتی‌اکسیدان‌ها در پیشگیری از بیماری‌های قلبی نقش مهمی دارد (Daneshvar, Mohammadi *et al.*, 2018 ; 2009).

عملکرد یک صفت پیچیده است که نه تنها توسط چندین ژن کنترل می‌شود، بلکه تا حد زیادی تحت تأثیر محیط نیز قرار می‌گیرد (Tilahun *et al.*, 2022; Iqbal *et al.*, 2015). از طرفی عملکرد متأثر از تعداد زیادی از صفات دیگر و تعامل آن‌ها نیز می‌باشد. برای به‌نژادگران گیاهی شناخت دقیق روابط بین این صفات و اثرات متقابل آن‌ها از لحاظ دو دیدگاه زیر دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد (Khomari *et al.*, 2017). ۱- اصلاح و بهبود عملکرد به صورت غیرمستقیم، ۲- شناسایی صفاتی که به طور خود به خودی در نتیجه اصلاح یک صفت تغییر خواهند کرد.

در این راستا، تحلیل ضرایب همبستگی برای گزینش با استفاده از بیش از یک صفت مفید است (Sharma *et al.*, 2010). با این‌حال، از آن‌جایی که عملکرد به بسیاری از مؤلفه‌های دیگر وابسته است، همبستگی به تنهایی برای توضیح ارتباط واقعی بین صفات کافی نخواهد بود (Jyothirmayi *et al.*, 2008). روش تجزیه و تحلیل ضرایب مسیر (تجزیه علیّت) که توسط رایت پیشنهاد گردیده است (Wright, 1921)، روشی است که روابط بین صفات و اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها را بر عملکرد روشن می‌سازد. در این روش ضریب همبستگی بین دو صفت به اجزائی که اثرات مستقیم و غیرمستقیم را اندازه‌گیری می‌کنند، تفکیک می‌گردد (Azizi Vidya *et al.*, 2018 ; *et al.*, 2017). تجزیه و تحلیل ضرایب مسیر به دلیل این‌که تصویر واضح‌تری از مقدار نسبی تأثیر صفات بر عملکرد ارائه می‌دهد، برای یک برنامه گزینشی از اهمیت بالایی برخوردار است. تجزیه و تحلیل همبستگی و ضرایب مسیر به طور گسترده در برنامه‌های به‌نژادی محصولات زراعی برای تعیین ماهیت ارتباط بین عملکرد میوه و اجزای مرتبط با آن مورد استفاده قرارگرفته‌است (Aman *et al.*, Srinivas *et al.*, 2020;2020).

در بررسی ۳۰ توده فلفل به منظور تعیین رابطه بین صفات و مشخص نمودن مؤثرین صفات بر روی عملکرد در هندوستان، نتایج حاصل از تجزیه علیّت مؤید اثر مستقیم و مثبت صفات تعداد میوه در بوته، وزن میوه و قطر میوه بر روی عملکرد بود (Munchi *et al.*, 2000). جهت تعیین همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی و بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم (تجزیه علیّت) صفات بر روی عملکرد میوه، ۵۵ ژنوتیپ فلفل تند در شش منطقه کشور اتیوپی بررسی شدند. نتایج این پژوهش بیانگر بالاتر بودن ضرایب همبستگی ژنوتیپی نسبت به ضرایب همبستگی فنوتیپی بود و در تجزیه ضرایب مسیر صفات وزن خشک، میانگین طول میوه، قطر میوه و میانگین تعداد میوه در بوته بیشترین تأثیر مستقیم را بر روی صفت عملکرد نشان دادند (Shumbulo *et al.*, 2017).

طبق توصیه اکثر محققان در برنامه‌های اصلاحی بایستی تمرکز بیشتری بر روی جمع‌آوری ژرم‌پلاسم‌های بومی و معرفی رقم‌ها و جمعیت‌ها از دیگر نقاط جهان انجام گیرد (Madoşă *et al.*, 2010). باتوجه به ضرورت متنوع بودن ژرم‌پلاسم در برنامه‌های اصلاحی فلفل، توده‌های محلی از این لحاظ بسیار ارزشمند بوده و استفاده از آن‌ها می‌تواند در ایجاد رقم‌های جدید فلفل بسیار حائز اهمیت باشد (Keshavarz *et al.*, 2019). خوشبختانه ایران در زمره مناطق دارای تنوع ژرم‌پلاسم فلفل می‌باشد، اما متأسفانه تاکنون کارهای اصلاحی چندانی در مورد این گیاه در ایران انجام نشده است. عملکرد میوه در توده‌های بومی ایران پایین است، زیرا میوه‌ها در این توده‌ها یکنواخت نبوده و قابلیت بازارپسندی پایینی دارند و مطابق با استانداردهای جهانی نمی‌باشند (Keshavarz *et al.*, 2019). بنابراین توده‌های بومی قابلیت رقابت با رقم‌های خارجی را ندارند و لذا برنامه‌ریزی جهت انجام تحقیقات به‌نژادی و به‌زراعی بر روی توده‌های بومی فلفل، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با توجه به مطالعات محدود در خصوص ارزیابی روابط بین عملکرد میوه و سایر صفات مؤثر بر عملکرد در فلفل، این تحقیق با هدف شناسایی این روابط مهم و ارزیابی اثرات مستقیم و غیرمستقیم آنها در توده‌های فلفل بومی ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

بررسی صفات مورفولوژیک و عملکرد

به منظور اجرای این پژوهش بذرهای ۳۰ توده فلفل بومی ایران مستقیماً از زارعین مناطق مربوطه جمع‌آوری گردید (جدول ۱). آزمایش به صورت کشت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (با دمای روزانه ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد، دمای شبانه ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۱۰۰۰۰-۸۰۰۰ لوکس و رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد) واقع در منطقه نازلو با عرض جغرافیایی "۳۷°۳۲ شمالی و طول جغرافیایی "۴۵°۵ شرقی و ارتفاع از سطح دریای آزاد برابر با ۱۳۱۳ متر در قالب طرح کاملاً تصادفی طی سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ اجرا گردید.

جدول ۱- مشخصات مناطق جمع‌آوری ۳۰ توده فلفل (*Capsicum annuum* L.) ایرانی مورد استفاده در پژوهش

Table 1– Characteristics of the collection areas of 30 Iranian pepper (*Capsicum annuum* L.) populations used in this study

نام توده Populations names	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)
سبزوار Sabzevar	57 ° 40 ′	36° 12′	981.21
خراسان Khorasan	59 ° 37 ′	36 ° 15′	981.90
ارومیه Urmia	45 ° 5 ′	37 ° 32′	1344.64
تبریز Tabriz	46 ° 16 ′	38 ° 5′	1365.76
تفرش (مرکزی) Tafresh (Markazi)	50 ° 0 ′	34 ° 41′	1892.09
محلات (مرکزی) Mahallat (Markazi)	50 ° 27 ′	33 ° 54′	1373.81
بروجرد Borujerd	48 ° 46 ′	33 ° 53′	1562.02
شیراز Shiraz	52 ° 35 ′	29 ° 35′	1508.14
لردگان ۱ (چهارمحال) Lordegan 1 (Chaharmahal)	50 ° 48 ′	31 ° 30′	1572.67
بویراحمد Boyer Ahamd	50 ° 50 ′	30 ° 43 ′	1165.36
لردگان ۲ (چهارمحال) Lordegan 2 (Chaharmahal)	50 ° 48 ′	31 ° 30 ′	1572.67
چهارمحال Chaharmahal	50 ° 39 ′	31 ° 59 ′	1829.19
میناب (هرمزگان) Minab (Hormozgan)	57 ° 4 ′	27 ° 8 ′	35
کردستان ۱ Kurdistan 1	47 ° 8 ′	35 ° 57 ′	2538
کردستان ۲ Kurdistan 2	47 ° 8 ′	35 ° 57 ′	2538
کردستان ۳ Kurdistan 3	47 ° 8 ′	35 ° 57 ′	2538
کشتیبان (ارومیه) Keshtiban (Urmia)	45 ° 15 ′	37 ° 33 ′	1278
بجنورد Bojnord	57 ° 18 ′	37 ° 28 ′	1070
قراملک (تبریز) Gharamalik (Tabriz)	46 ° 13 ′	38 ° 5 ′	1344
قلاجیغ (بناب) Ghale Jigh (Bonab)	46 ° 5 ′	37 ° 9 ′	1308
بانه Bane	45 ° 52 ′	35 ° 59 ′	1526.52
جغتای (مشهد) Joghatay (Mashhad)	59 ° 6 ′	35 ° 6 ′	1146.01
گچساران Ghachsaran	50 ° 47 ′	35 ° 21 ′	728.95
باش قلعه (ارومیه) Bash Ghala-Urmia	45 ° 7 ′	37 ° 38 ′	1288.98
مراغه Maragheh	46 ° 15 ′	38 ° 6 ′	1472.29

قره باغ (ارومیه) Gharah Bagh (Urmia)	45 ˚ 2 ΄	34 ˚ 32 ΄	1376.03
تویسرکان (همدان) Tuyserkan (Hamadan)	48 ˚ 27 ΄	37 ˚ 42 ΄	1870.65
نخجوان (ارومیه) Nakhchivan (Urmia)	45 ˚ 6 ΄	37 ˚ 42 ΄	1298.58
گیجلر (ارومیه) Gejalar (Urmia)	45 ˚ 4 ΄	37 ˚ 42 ΄	1304
اورفای (ترکیه) Urfa (Turkey)	38 ˚ 47 ΄	37 ˚ 10 ΄	528.09

تعداد پنج بذر از هر یک از توده‌های انتخابی در گلدان کشت شد و پس از رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله چهار برگی، هر گیاهچه به گلدان‌های بزرگتر با ارتفاع ۴۰ و عرض ۳۲ سانتی‌متری حاوی مخلوطی از خاک مزرعه و پیت‌ماس منتقل شد. در این حالت هر توده شامل ۵ گلدان حاوی گیاهچه ۴ برگی بود. در طول فصل رشد هر هفته آبیاری انجام گرفت و بعد از هر ۲ دور آبیاری با آب معمولی، یک دور آبیاری با آب حاوی ۰/۵ گرم در لیتر کود ۲۰ –۲۰– ۲۰ (NPK) صورت گرفت. پس از مرحله گلدهی، صفات تعداد شاخه (NB; Number of branches)، طول برگ به سانتی‌متر (LL; Leaf length)، عرض برگ به سانتی‌متر (LW; Leaf width)، طول دمبرگ به سانتی‌متر (PL; Petiole length)، ارتفاع بوته به سانتی‌متر (PH; Plant height)، دور بوته به میلی‌متر (RS (AP); Around the plant)، تعداد میوه (NF; Number of fruit)، وزن تک میوه به گرم (SFW; Single fruit weight)، عملکرد میوه به گرم (FY; Fruit yield)، طول میوه به سانتی‌متر (FL; Fruit length)، قطر میوه به سانتی‌متر (RF (FD); Fruit diameter)، دور میوه به سانتی‌متر (FC; Fruit circumference)، وزن گوشت به گرم (PW; Pulp weight) و وزن کل بذر به گرم (TSW; Total seed weight) اندازه‌گیری شدند. صفات مورد بررسی بر اساس توصیف نامه فلفل (IPGRI, AVRDC and CATIE, 1995) اندازه گیری شدند. برای اندازه‌گیری صفات طول، قطر و دور میوه، از هر توده بعد از برداشت دوم تعداد پنج عدد میوه از هر بوته انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها ثبت گردید. عملکرد میوه در هر تکرار بر اساس مجموع وزن میوه‌های برداشت شده در مراحل مختلف برداشت محاسبه، و میانگین آن برای هر توده استفاده گردید. از هر توده پس از برداشت دوم، میانگین وزن تر ۵ میوه توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و به عنوان وزن تک میوه در محاسبات قرار گرفت. دور یا محیط بوته از وسیع‌ترین بخش بوته که شاخه‌ها توسعه یافته‌اند، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مشخصات برگ از تعداد پنج برگ تشکیل شده بر روی شاخه‌های قدیمی‌تر که در آن‌ها اندازه برگ کامل بود، استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها بعد از بررسی فرضیه‌های اساسی تجزیه واریانس (Kaps and Lamberson, 2009) بر اساس مدل آماری طرح پایه در نرم‌افزار SAS V.9.4 انجام شد. همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی بین صفات بر اساس رویه حداکثر درستنمایی محدود شده[1] (REML) در نرم‌افزار SAS V.9.4 برآورد گردید (Holland, 2006). از رگرسیون گام به گام برای تعیین صفاتی که بیشترین میزان تنوع متغیر تابع را توجیه می‌نمایند، استفاده شد. بدین منظور رگرسیون گام به گام برای عملکرد میوه به عنوان متغیر وابسته در برابر بقیه صفات به عنوان متغیر مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام شد. جهت بررسی استقلال اشتباهات آزمایشی، آزمون Durbin-Watson انجام شد. تجزیه ضرایب مسیر بر اساس نتایج رگرسیون گام‌به‌گام و همبستگی ژنتیکی صفات در محیط نرم‌افزار R V.4.0.5 طبق اسکریپت زیر انجام شد.

```
install.packages("devtools")
library(devtools)
install.packages("nlme")
library(nlme)
install_github("reyzaguirre/st4gi")
a<-choose.files()
b<-read.table(a,header=T)
install.packages("st4gi")
library(st4gi)
install.packages("agricolae")
library(agricolae)
corr.x<- matrix(c())
corr.x
corr.y<- matrix(c())
corr.y
install.packages("fastmap")
install.packages("agricolae")
library(agricolae)
path.analysis(corr.x,corr.y)
Direct and indirect effect path coefficients
```

نتایج و بحث

نتایج حاصل از همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی ویژگی‌های مورد

1- Restricted Maximum Likelihood

بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است. از آن‌جایی که شناخت صفات مختلف در گیاهان، نحوه عملکرد آن‌ها و اثرات متقابلی که بر یکدیگر دارند می‌تواند در برنامه‌های تحقیقاتی مؤثر باشد، از برآورد همبستگی فنوتیپی صفات جهت شناخت روابط بین آن‌ها و استفاده در برنامه‌های به‌نژادی استفاده می‌گردد (Alaeddin *et al.*, 2016). در این بررسی بر اساس نتایج حاصل از همبستگی فنوتیپی، بین صفات عرض برگ و طول برگ (۰/۶۵۱)، دور بوته و طول برگ (۰/۴۰۰)، تعداد شاخه و ارتفاع بوته (۰/۴۳۰)، وزن تک میوه و دور میوه (۰/۷۸۴)، دور بوته و ارتفاع بوته (۰/۴۳۳)، قطر میوه و طول برگ (۰/۴۴۲)، قطر میوه و عرض برگ (۰/۴۱۶)، دور میوه و قطر میوه (۰/۶۲۵)، وزن گوشت میوه و وزن تک میوه (۰/۴۷۸)، وزن گوشت میوه و قطر میوه (۰/۶۱۰)، وزن گوشت میوه و دور میوه (۰/۴۵۰)، همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۲). تجزیه و تحلیل همبستگی امکان تجزیه و تحلیل میزان و جهت روابط بین صفات را فراهم می‌آورد و امکان ارزیابی قابلیت انتخاب غیرمستقیم در برنامه های به‌نژادی را فراهم می‌آورد که می‌تواند منجر به پیشرفت ژنتیکی سریع‌تر شود (Soares *et al.*, 2017). در به‌نژادی دانستن روابط بین صفات زراعی بسیار اهمیت دارد، این امر ارتباط مثبتی با انتخاب جهت افزایش تولید و بهره‌وری دارد (Soares *et al.*, 2017). در این پژوهش می‌توان همبستگی‌های فنوتیپی مهمی را بین صفات ارزشمند با هدف داشتن تولید بیشتر مشاهده نمود، همان‌گونه که عملکرد میوه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با صفات قطر میوه (۰/۴۴۲)، دور میوه (۰/۷۶۳)، وزن گوشت (۰/۶۲۵) و وزن تک میوه (۰/۶۵۳) بود، امّا با صفت تعداد میوه (۰/۲۴۴) و طول میوه (۰/۱۷۲) دارای همبستگی منفی و معنی‌داری بود (جدول ۱). در نتایج مشابه همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد با وزن میوه و دور میوه، در ۲۵ توده فلفل هندی گزارش شده است (Thakur *et al.*, 2019). همچنین همبستگی معنی‌دار منفی بین عملکرد و طول میوه نیز در بررسی ۲۲ لاین فلفل تند گزارش شده است که با پژوهش حاضر مطابقت دارد (Soares *et al.*, 2017).

با توجه به این‌که هدف اصلی این پژوهش تعیین صفاتی است که دارای بالاترین رابطه با عملکرد میوه باشند، اقدام به محاسبه همبستگی ژنتیکی صفات گردید. هدف از محاسبه ضریب همبستگی ژنتیکی بررسی روابط در شرایطی است که عوامل محیطی دخالتی ندارند (Siahpoosh *et al.*, 2003). بدین ترتیب همبستگی بین صفات مختلف از دیدگاه پیوستگی و پلیوتروپی بین صفات مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بررسی همبستگی ژنتیکی باید توجه داشت که وجود همبستگی بالا، احتمالاً یا در اثر لینکاژ قوی بین ژن‌های کنترل کننده‌ی دو صفت مزبور بوده و یا احتمالاً ژن‌هایی با اثرات پلیوتروپیک در بروز همبستگی ژنتیکی بالا در این صفات نقش داشته است (Alaeddin *et al.*, 2016). در بررسی همبستگی ژنتیکی، رابطه مثبت، قوی و معنی‌دار بین عملکرد با وزن گوشت میوه (۰/۹۰۷)، دور میوه (۰/۸۹۱)، قطر میوه (۰/۶۹۷)، وزن تک میوه (۰/۶۴۶) و دور بوته (۰/۳۸۱) مشاهده گردید (جدول ۲). از آن‌جایی‌که اکثر این صفات از عوامل توجیه کننده عملکرد میوه می‌باشند، وجود چنین ضرایب همبستگی ژنتیکی مثبت و معنی‌دار منطقی به نظر می رسد. می‌توان استنباط کرد توده‌هایی با خصوصیات میوه، دور بوته و شاخه‌دهی اولیه بیشتر، دارای عملکرد میوه بالایی باشند. وزن تک میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری با دور میوه (۰/۸۷۱)، قطرمیوه (۰/۸۰۰)، وزن گوشت میوه (۰/۶۶۵) و عرض برگ (۰/۴۴۶) نشان داد. همچنین همبستگی بین تعداد میوه با دور بوته (۰/۴۰۷) و تعداد شاخه (۰/۳۶۵) مثبت و معنی‌دار بود. صفت عملکرد میوه اهمیت اقتصادی زیادی دارد و برای برنامه‌های به‌نژادی انتخاب گیاهان با بهره‌وری بالا مهم است. با این حال، مشاهده می‌گردد که بیشتر صفات با هم ارتباط دارند و این امر نشان دهنده پیچیدگی رابطه بین صفات مربوط با عملکرد میوه است.

رگو (Rego, 2009) نیز در بررسی اجزای عملکرد و کیفیت میوه در جمعیت دی‌آلل فلفل، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات وزن میوه، عرض میوه و عملکرد میوه گزارش نمود. لاهبیب و همکاران (Lahbib *et al.* 2012) در بررسی همبستگی صفات توده های فلفل تونس بین صفات طول و عرض میوه با عملکرد میوه همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده نمودند که با نتایج به دست آمده از این پژوهش مطابقت دارد. باقری و همکاران (Bagheri *et al.* 2017) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات عرض میوه، وزن تر میوه و عملکرد میوه گزارش نمودند. همبستگی خصوصیات تک میوه از قبیل عرض میوه، دور میوه و وزن تک میوه توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است و لذا خصوصیات تک میوه می‌تواند شاخص خوبی برای انتخاب گیاهانی با عملکرد بالا باشد. همبستگی قوی، مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع بوته با دور بوته (۰/۶۸۸) و تعداد شاخه (۰/۴۹۱) به این معنی است که توده‌هایی که دارای رشد رویشی قوی بوده و سازگاری مطلوبی با شرایط محیطی دارند، پتانسیل تولید میوه با وزن زیاد را دارا بوده و می‌توانند عملکرد بالاتری داشته باشند.

نتایج به دست آمده در مورد همبستگی بین صفات در آزمایش های مختلف می‌تواند متضاد باشد. بدین معنی که ارتباط بین دو صفت در آزمایشی مثبت و معنی‌دار و در آزمایش مشابه دیگر در منطقه‌ای دیگر منفی و معنی‌دار گزارش می‌شود. با توجه به این‌که ماهیت روابط بین اجزا تنها ژنتیکی نبوده و از محیطی به محیط دیگر تغییر می‌یابد، به‌همین دلیل ممکن است در آزمایش‌ها نتایج متفاوت نیز گزارش شود (Keshavarz *et al.*, 2019).

جدول ۲- ضرایب همبستگی ژنتیکی (بالای قطر) و فنوتیپی (پایین قطر) برای عملکرد و صفات مرتبط با عملکرد در ۳۰ توده فلفل (*Capsicum annuum* L.) ایرانی

Table 2- Genotypic (above diagonal) and phenotypic (below diagonal) correlation coefficient of yield and yield-related traits in 30 Iranian pepper (Capsicum annuum L.) populations

	NB	LL	LW	PL	PH	AP	NF	SFW	FY	FL	FD	FC	PW
NB	1	0.11^{ns}	0.07^{ns}	-0.02^{ns}	0.491^{**}	0.487^{**}	0.365^{**}	-0.09^{ns}	0.223^{**}	-0.184^{*}	0.152^{ns}	0.097^{ns}	0.269^{**}
LL	0.052^{ns}	1	0.819^{**}	0.142^{ns}	0.387^{**}	0.631^{**}	0.244^{**}	0.358^{**}	0.304^{**}	0.145^{ns}	0.619^{**}	0.396^{**}	0.375^{**}
LW	0.057^{ns}	0.651^{**}	1	0.223^{**}	0.369^{**}	0.447^{**}	0.297^{**}	0.446^{**}	0.328^{**}	0.051^{ns}	0.630^{**}	0.403^{**}	0.423^{**}
PL	0.011^{ns}	0.09^{ns}	0.171^{*}	1	0.167^{*}	0.186^{*}	0.199^{*}	0.084^{ns}	0.038^{ns}	0.014^{ns}	0.039^{ns}	-0.04^{ns}	0.053^{ns}
PH	0.430^{**}	0.333^{**}	0.303^{**}	0.129^{ns}	1	0.688^{**}	-0.04^{ns}	0.222^{**}	0.173^{*}	0.131^{ns}	0.281^{**}	0.206^{*}	0.168^{*}
AP	0.312^{**}	0.400^{**}	0.268^{**}	0.09^{ns}	0.433^{**}	1	0.407^{**}	0.286^{**}	0.381^{**}	0.056^{ns}	0.553^{**}	0.326^{**}	0.543^{**}
NF	0.194^{*}	0.122^{*}	0.243^{**}	0.064^{ns}	-0.04^{ns}	0.270^{**}	1	-0.12^{ns}	-0.01^{ns}	-0.44^{**}	0.320^{**}	-0.175^{*}	0.187^{*}
SFW	-0.08^{ns}	0.292^{**}	0.322^{**}	0.05^{ns}	0.192^{*}	0.11^{ns}	-0.272^{**}	1	0.646^{**}	-0.01^{ns}	0.800^{**}	0.871^{**}	0.665^{**}
FY	0.162^{*}	0.243^{**}	0.202^{*}	-0.01^{ns}	0.15^{ns}	0.191^{*}	-0.244^{**}	0.653^{**}	1	-0.377^{**}	0.697^{**}	0.891^{**}	0.907^{**}
FL	-0.12^{ns}	0.13^{ns}	0.05^{ns}	0.02^{ns}	0.06^{ns}	-0.06^{ns}	-0.304^{**}	0.045^{ns}	-0.172^{*}	1	$-.272^{**}$	-0.163^{*}	-0.447^{**}
FD	0.105^{ns}	0.442^{**}	0.416^{**}	-0.02^{ns}	0.259^{**}	0.546^{**}	0.330^{**}	0.577^{**}	0.442^{**}	-0.295^{**}	1	0.791^{**}	0.839^{**}
FC	0.059^{ns}	0.314^{**}	0.243^{**}	-0.03^{ns}	0.197^{*}	0.257^{**}	-0.357^{**}	0.784^{**}	0.763^{**}	-0.11^{ns}	0.625^{**}	1	0.864^{**}
PW	0.202^{*}	0.267^{**}	0.344^{**}	-0.01^{ns}	0.072^{ns}	0.296^{**}	0.337^{**}	0.478^{**}	0.625^{**}	-0.295^{**}	0.610^{**}	0.450^{**}	1
TSW	0.155^{ns}	-0.356^{**}	-0.387^{**}	0.045^{ns}	-0.14^{ns}	-0.08^{ns}	-0.209^{*}	-0.35^{**}	0.104^{ns}	-0.02^{ns}	$-.369^{**}$	-0.10^{ns}	-0.26^{**}

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصدNB :. تعداد شاخه، LL: طول برگ به سانتی‌متر، LW: عرض برگ به سانتی‌متر، PL: طول دمبرگ به سانتی‌متر، PH: ارتفاع بوته به سانتی‌متر، AP: دور بوته به میلی‌متر، NF: تعداد میوه، SFW: وزن تک میوه به گرم، FY: عملکرد میوه به گرم، FL: طول میوه به سانتی‌متر، FD: قطر میوه به سانتی‌متر، FC: دور میوه به سانتی‌متر، PW: وزن گوشت به گرم، TSW: وزن کل بذر به گرم.

ns, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% of probability level, respectively. NB: Number of branches; LL: Leaf length (cm); LW: Leaf width (cm); PL: Petiole length (cm); PH: Plant height (cm); AP: Round surrounding of bush (mm); NF: Number of fruits; SFW: Single fruit weight (g); FY: Fruit yield (g); FL: Fruit length (cm); FD: Fruit diameter (cm); FC: Fruit circumference (cm); PW: Pulp weight (g); TSW: Total seed weight (g).

ضریب همبستگی به عنوان مقیاس اندازه‌گیری رابطه خطی بین دو متغیر به کار می‌رود و صرفاً دارای یک تفسیر ریاضی است، و لذا معنی‌دار بودن آن نمی‌تواند دلیل کافی بر وجود پدیده علت و معلولی باشد (Mardanzadeh *et al.*, 2019). تجزیه ضرایب مسیر به عنوان ابزاری قدرتمند همبستگی بین دو متغیر علت و معلول را به اثرات مستقیم و غیرمستقیم تفکیک می‌نماید. جهت انجام تجزیه ضرایب مسیر بایستی مهم‌ترین صفات توجیه کننده عملکرد میوه در توده‌های فلفل مورد مطالعه تعیین گردد. بدین منظور از مدل رگرسیون گام به گام استفاده گردید. برای تشکیل معادله رگرسیونی در این مدل رگرسیون، عملکرد میوه به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند (جدول ۲).

بر اساس نتایج رگرسیون گام به گام صفات کم‌تأثیر یا بی‌تأثیر از مدل حذف گردیدند و هفت صفت وزن گوشت، دور بوته، قطر میوه، تعداد میوه، ارتفاع بوته، وزن کل بذر و تعداد شاخه به عنوان مؤثرترین صفات بر عملکرد میوه تعیین شدند (جدول ۳). نخستین ویژگی، وزن گوشت بود که وارد مدل شد و ۷۸/۸ درصد از تغییرات عملکرد بین ژنوتیپ ها را توجیه می‌نمود. دومین ویژگی که وارد مدل شد، دور بوته بود که همراه با وزن گوشت ۸۰/۹ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کردند. قطر میوه سومین ویژگی بود که وارد مدل گردید و همرا با دو ویژگی قبلی ۸۱/۵ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه می‌نمودند. تعداد میوه، ارتفاع بوته، وزن کل بذر و تعداد شاخه صفات دیگری بودند که به ترتیب وارد مدل شدند. در مجموع صفات وارد شده به مدل برای عملکرد میوه ۸۴/۶ درصد از تغییرات کل عملکرد میوه را توجیه نمودند. با توجه به نتایج رگرسیون گام‌به‌گام می‌توان انتخاب را در شرایط این آزمایش بر اساس صفات فوق‌الذکر مناسب تر دانست. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت در برنامه‌های به‌نژادی فلفل گزینش بر اساس این صفات می‌تواند منجر به افزایش عملکرد میوه گردد (Keshavarz *et al.*, 2019). قاضی‌زاده و همکاران (Ghazizadeh *et al.*, 2010) در تحقیقی بر روی فلفل بر اساس نتایج حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام، صفات عرض میوه، ضخامت دیواره میوه، طول و عرض برگ و طول میوه را به‌عنوان مؤثرترین صفات در توجیه عملکرد میوه معرفی نمودند که این یافته با نتیجه تحقیق حاضر

مغایرت داشت. رگو (Rego, 2009) در بررسی دای‌آلل اجزای عملکرد و کیفیت میوه در توده های فلفل اتیوپی، به ارتباط بین عملکـرد تـر میوه و طول ساقه در نتایج رگرسیون گام‌به‌گام اشاره کرده بود که بـا نتیجه پژوهش حاضر مطابقت داشت. طبق نتایج همبستگی ژنتیکـی، صفت عملکرد میوه با وزن گوشت (۰/۹۰۷)، دور بوته (۰/۳۸۱) و قطر میوه (۰/۶۹۷) دارای همبستگی قوی، مثبت و معنی‌دار بود که با نتایج تجزیه رگرسیون مطابقت دارد و این صـفات اولـین ویژگـی‌هـای وارد شده به مدل بودند.

جدول ۳- تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام عملکرد میوه به عنوان متغیر تابع و دیگر صفات مورفولوژیک به‌عنوان متغیرهای مستقل در ۳۰ توده فلفل ایرانی (*Capsicum annuum* L.)

Table 3– Stepwise regression analysis of fruit yield as dependent and other morphological traits as independent variables in 30 Iranian pepper (*Capsicum annuum* L.) populations

متغیر وارد شده به مدل Variable interred into the model	عرض از مبدأ Constant	ضریب رگرسیون استاندارد شده Standardized regression coefficient	ضریب تبیین جزئی Partial R^2	ضریب نسبی مدل R-Square	ضریب تبیین تصحیح شده Adjusted R-Square	F
PW	2.59	0.680	0.790	0.790	0.788	515.27^{**}
AP	-9.57	0.084	0.022	0.812	0.809	15.70^{**}
FD	-8.58	0.281	0.007	0.819	0.815	5.49^{**}
NF	-14.91	0.131	0.017	0.836	0.831	13.46^{**}
PH	-17.66	0.139	0.008	0.843	0.837	6.40^{**}
TSW	-17.99	0.118	0.006	0.849	0.842	5.05^{**}
NB	-19.63	-0.088	0.005	0.854	0.846	4.61^{**}
		Durbin-Watson=1.738				

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار،و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. PW: وزن گوشت به گرم،AP : دور بوته به میلی‌متر،FD: قطر میوه به سانتی‌متر،NF: تعداد میوه، PH: ارتفاع بوته به سانتی‌متر، TSW: وزن کل بذر به گرم، NB: تعداد شاخه.

ns, * and **: Non-significant, and significant at 5% and 1% of probability level, respectively. PW: Pulp weight (g); AP: Round surrounding of bush (mm); FD: Fruit diameter (cm); NF: Number of fruits; PH: Plant height (cm); TSW: Total seed weight (g); NB: Number of branches

جدول ٤- نتایج تجزیه ضرایب مسیر با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام به منظور تعیین ویژگی‌های مرفولوژیک مؤثر در عملکرد میوه در ۳۰ توده فلفل ایرانی (*Capsicum annuum* L.)

Table 4– The results of path analysis using stepwise regression to determine the morphological characteristics affecting fruit yield in 30 Iranian pepper (*Capsicum annuum* L.) populations

صفت Trait	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق صفت Indirect effect through: وزن گوشت PW	دور بوته AP	قطر میوه FD	تعداد میوه NF	ارتفاع بوته PH	وزن کل بذر TSW	تعداد شاخه NB	همبستگی ژنتیکی با عملکرد Genotypic correlation coefficient with yield
وزن گوشت PW	0.289		-0.00016	0.595	-0.061	-0.019	0.058	0.044	0.907^{**}
دور بوته AP	-0.0003	0.157		0.392	-0.133	-0.079	-0.036	0.080	0.381^{**}
قطر میوه FD	0.709	0.243	-0.0001		-0.104	-0.032	-0.143	0.025	0.697^{**}
تعداد میوه NF	-0.327	0.054	-0.00012	0.227		0.0045	-0.030	0.060	-0.012^{ns}
ارتفاع بوته PH	-0.115	0.048	-0.0002	0.199	0.012		-0.053	0.081	0.173^{*}
وزن کل بذر TSW	0.262	0.064	0.00004	-0.388	0.037	0.023		0.030	0.030^{ns}
تعداد شاخه NB	0.165	0.077	-0.00014	0.107	-0.119	-0.056	0.048		0.223^{**}
اثرات باقیمانده (Residual effects) = 0.213									

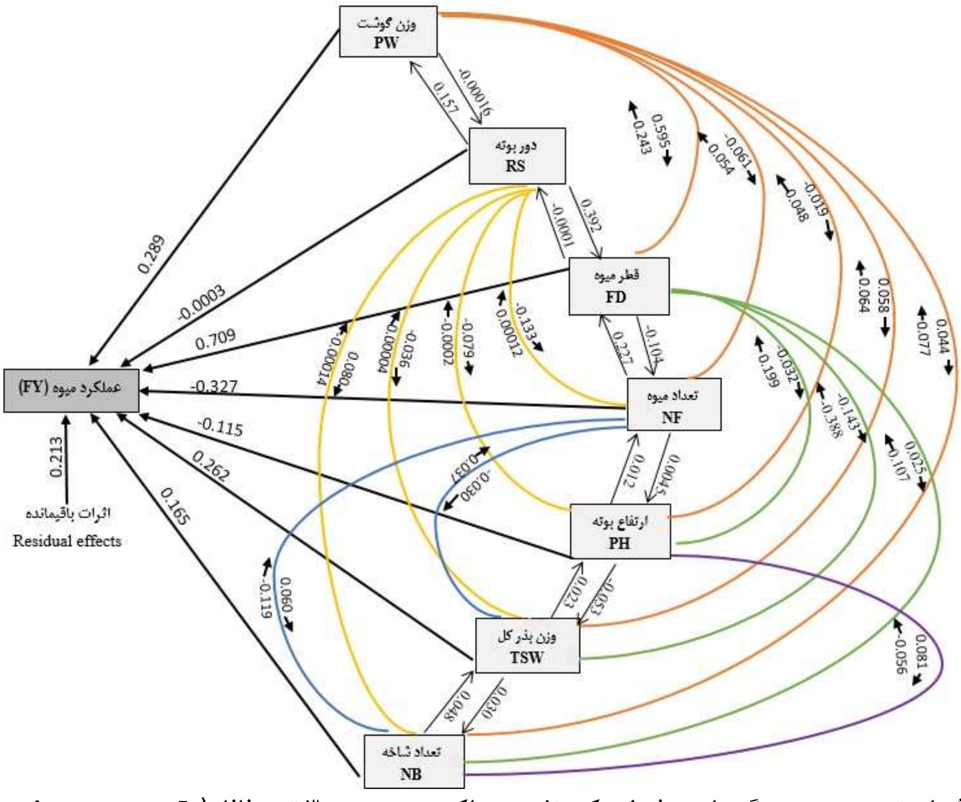
ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: Non-significant, and significant at 5% and 1% of probability level, respectively.

در رگرسیون گام‌به‌گام انجام شده عدد مربوط به آزمون واتسون–دوربین (۱/۷۳۸) بین ۲/۵–۱/۵ است که حاکی از استقلال اشتباهات آزمایشی می‌باشد (Valizadeh and Moghaddam, 2002 ; Morsali Aghajari *et al*., 2020).

به‌منظور درک بهتر و تفسیر دقیق‌تر نتایج و نیز آگاهی از اثرات مستقیم و غیرمستقیم و نحوه تأثیر صفاتی که از طریق رگرسیون گام به‌گام وارد مدل شدند، از روش تجزیه ضرایب مسیر در این پژوهش استفاده شد. برای این منظور عملکرد میوه به عنوان ویژگی وابسته و سایر صفات وارد شده به مدل رگرسیون به عنوان ویژگی مستقل انتخاب شدند. نتایج نشان داد که صفات وزن گوشت (۰/۲۸۹)، قطر میوه (۰/۷۰۹)، وزن کل بذر (۰/۲۶۲) و تعداد شاخه (۰/۱۶۵) اثر مستقیم و مثبت و نیز صفات دور بوته (۰/۰۰۰۳-)، تعداد میوه (۰/۳۲۷-) و ارتفاع بوته (۰/۱۱۵-) اثر مستقیم و منفی را بر عملکرد میوه داشتند (جدول ۴ و شکل ۱). در بررسی ۳۰ توده فلفل به منظور تعیین رابطه بین صفات ومشخص نمودن مؤثرین صفات بر روی عملکرد در هندوستان، نتایج حاصل از تجزیه علیّت مؤید اثر مستقیم و مثبت صفات تعداد میوه در بوته، وزن میوه و قطر میوه بر روی عملکرد بود (Munchi *et al*., 2000).

قطر میوه (۰/۷۰۹) و وزن گوشت (۰/۲۸۹) به‌ترتیب بیشترین اثر مثبت و مستقیم را بر عملکرد میوه نشان دادند. همبستگی ژنتیکی وزن گوشت و قطر میوه (به‌ترتیب ۰/۹۰۷ و ۰/۶۹۷) در سطح یک درصد با عملکرد میوه قوی، مثبت و معنی‌دار بود. وزن گوشت میوه از طریق قطر میوه بیشترین اثر غیر مستقیم مثبت (۰/۵۹۵) را بر عملکرد میوه داشت (جدول ۴). صفت دور بوته از طریق وزن گوشت (۰/۱۵۷)، قطر میوه (۰/۳۹۲) و تعداد شاخه (۰/۰۸۰) اثر مثبت غیرمستقیم بر عملکرد میوه نشان داد (شکل ۱) این درحالی است که صفت دور بوته دارای همبستگی ژنتیکی مثبت و معنی‌داری با عملکرد میوه (۰/۳۸۱) داشت. قطر میوه نیز از طریق وزن گوشت (۰/۲۴۳) و تعداد شاخه (۰/۰۲۵) اثر غیرمستقیم مثبت و از طریق تعداد میوه (۰/۱۰۴-) و وزن کل بذر (۰/۱۴۳-) اثر غیرمستقیم منفی بر عملکرد میوه داشت. صفت وزن کل بذر از طریق قطر میوه (۰/۳۸۸-) بیشترین اثر غیرمستقیم منفی رابر عملکرد میوه نشان داد، درصورتی‌که از طریق وزن گوشت (۰/۰۶۴)، تعداد میوه (۰/۰۳۷)، تعداد شاخه (۰/۰۳۰) و ارتفاع بوته (۰/۰۲۳) اثر مثبت غیرمستقیم بر عملکرد میوه داشت (جدول ۴ و شکل ۱)، در صورتی‌که صفت وزن کل بذر با عملکرد میوه همبستگی معنی داری نشان نداد.



شکل ۱- شمای تجزیه مسیر ویژگی‌های مرفورلوژیک مؤثر در عملکرد میوه در ۳۰ توده فلفل (*Capsicum annuum* L.) ایرانی

Figure 1- Path analysis diagram of morphological characteristics affecting fruit yield in 30 Iranian pepper (*Capsicum annuum* L.) populations

در رابطه با صفت ارتفاع بوته که همبستگی ژنتیکی مثبت و معنی‌دار (۰/۱۷۳) با عملکرد میوه نشان داد، تأثیر مثبت غیرمستقیم از طریق قطر میوه بر عملکرد میوه داشت. همچنین ارتفاع بوته از طریق تعداد شاخه (۰/۰۸۱) و تعداد میوه (۰/۰۱۲) و وزن گوشت (۰/۰۴۸) اثر مثبت غیرمستقیم بر عملکرد نشان داد (شکل ۱).

با وجود این‌که همبستگی ژنتیکی تعداد میوه با عملکرد میوه معنی‌دار نبود، اما این ویژگی از طریق قطر میوه (۰/۲۲۷) و وزن گوشت (۰/۵۴) اثر غیرمستقیم مثبتی بر عملکرد میوه نشان داد. صفت تعداد شاخه نیز از طریق قطر میوه (۰/۱۰۷) بیشترین اثر غیرمستقیم مثبت را بر عملکرد میوه داشت. همبستگی ژنتیکی تعداد شاخه با عملکرد میوه (۰/۲۲۳) مثبت و معنی‌دار بود. پنجاه و پنج ژنوتیپ فلفل تند در شش منطقه کشور اتیوپی بررسی شدند. نتایج این پژوهش در تجزیه ضرایب مسیر صفات وزن خشک، میانگین طول میوه، قطر میوه و میانگین تعداد میوه در بوته بیشترین تأثیر مستقیم را بر روی صفت عملکرد نشان دادند (Shumbulo *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری

در تفسیر نتایج حاصل از تجزیه علیّت (ضرایب مسیر) باید درنظر داشت که اگر ضریب همبستگی بین متغیر علّت با متغیر معلول، به طور تقریبی برابر با ضریب علیّت بین آن دو باشد، در این صورت ضریب همبستگی بیان کننده‌ی میزان رابطه‌ی واقعی بین دو متغیر بوده و انتخاب مستقیم از طریق این صفت می‌تواند مفید باشد. در پژوهش حاضر صفت قطر میوه دارای همبستگی ژنتیکی مثبت، قوی و معنی‌داری (۰/۶۹۷) با عملکرد میوه بود، همچنین اثر مستقیم مثبت (۰/۷۰۹) بر عملکرد نشان داد، که به طور تقریبی می‌توان این دو ضریب را با هم برابر درنظر گرفت. لذا انتخاب مستقیم از طریق صفت قطر میوه می‌تواند در بهبود عملکرد میوه مفید باشد. ضریب همبستگی ژنتیکی صفت دور بوته (۰/۳۸۱) و ارتفاع بوته (۰/۱۷۳) با عملکرد میوه مثبت و معنی‌دار بود، اما اثر مستقیم این دو صفت بر عملکرد میوه (به‌ترتیب ۰/۰۰۰۳- و ۰/۱۱۵-) منفی و یا قابل اغماض بود. در این حالت علت وجود همبستگی تأثیرات غیرمستقیم است و در چنین حالتی متغیرهایی با تأثیرات غیرمستقیم در انتخاب مد نظر قرار می‌گیرند. هر دو صفت دور بوته و ارتفاع بوته از طریق قطر میوه اثر غیرمستقیم مثبت بر عملکرد داشتند. مقدار اثرات باقی‌مانده، نشان‌دهنده‌ی درجه دقت مدل تجزیه مسیر است. در صورتی که این مقدار بزرگ باشد ممکن است لازم شود تا تعداد بیشتری از متغیرهای علت وارد مدل شوند. در پژوهش حاضر مقدار اثرات باقی‌مانده (۰/۲۱۳) دقت مطلوب مدل را تأیید می‌نماید. هدف از انجام تجزیه مسیر، تعیین اجزایی از عملکرد میوه است که دارای ویژگی هایی از قبیل همبستگی ژنتیکی و اثر مستقیم بالا با عملکرد بوده و همچنین دارای حداقل اثرات غیرمستقیم منفی از طریق سایر ویژگی‌ها بر عملکرد میوه باشند، تا بتوان به عنوان معیار انتخاب در برنامه‌های به نژادی از آن‌ها استفاده نمود. در این پژوهش بهره‌گیری از روش آماری رگرسیون چند متغیره گام به گام و تجزیه مسیر به منظور درک روابط اساسی میان متغیرها بسیار کارآمد بوده و نشان داد تنها استناد به روابط همبستگی برای توجیه روابط میان متغیرها کافی نمی‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه ارومیه به جهت تأمین امکانات لازم برای انجام پژوهش و همچنین از آقای مهندس محسن صالحیان دانش آموخته بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه ارومیه به خاطر کمک در اجرای آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. Alaeddin, H., Zangi, M., & Nezamzadeh, R. (2016). Evaluation of genotypic and phenotypic correlation with yield and earliness in tetraploid species cotton. *Iranian Journal of Cotton Researches*, *4*(1), 77-90. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22092/ijcr.2017.109251
2. Aman, J., Bantte, K., Alamerew, S., & Sbhatu, D.B. (2020). Correlation and path coefficient analysis of yield and yield components of quality protein maize (*Zea mays* L.) hybrids at Jimma, western Ethiopia. *International Journal of Agronomy*, 7. http://doi.org/10.1155/2020/9651537
3. Azizi, H., Aalami, Ali., Esfahani, M., & Ebadi, AA. (2017). The study of correlation and path analysis of grain yield and its related traits in rice (*Oryza sativa* L.) varieties and lines. *Journal of Crop Breeding*, *9*(21), 36-43. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.29252/jcb.9.21.36
4. Bagheri, G., Zahedi, B., Darvishzadeh, R., & hajiali, A. (2017). Investigation on morphological and physiological variation of some sweet pepper ecotypes (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Horticultural Science*, *31*(1), 140-157. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.47955
5. Daneshvar, M.H. (2009). *Vegetables Growing*. Shahid Chamran University Press, 462p. (In Persian)
6. Ghazizadeh, S., Hasani, M.A., Mohammadi, A., & Bahramirad, M. (2010). Genetic variation in pepper genotypes (*Capsicum* spp.) using morphological traits. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *41*(1), 71-82. (In Persian

with English abstract)

7. Hollandl, J.B. (2006). Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. *Crop Science*, *46*, 642-654. http://doi.org/10.2135/cropsci2005.019
8. IPGRI, AVRDC, & CATIE. (1995). *Descriptors for Capsicum* (*Capsicum* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; the Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan, and the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, 110p.
9. Iqbal, S., Tak, H.I., Inam, A., Inam, A., Sahay, S., & Chalkoo, S. (2015). Comparative effect of wastewater and groundwater irrigation along with nitrogenous fertilizer on growth, photosynthesis and productivity of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, *38*(7), 1006–1021. http://doi.org/10.1080/01904167.2014.991032
10. Jyothirmayi, T., Rao, G.N., & Rao, D.G. (2008). Physicochemical changes during processing and storage of green chili (*Capsicum annuum*) powders. *Journal of Food Processing and Preservation*, *32*(5), 868–880. http://doi.org/10.1111/j.1745- 549.2008.00219.x
11. Kadwey, S., Dadiga, A., & Prajapati, S. (2016). Genotypes performance and genetic variability studies in Hot chilli (*Capsicum annum* L.). *Indian Journal of Agricultural Research*, *50*(1), 56-60.
12. Kaps, M., & Lamberson, W.R. (2009). *Biostatistics for Animal Science: an introductory text*. (2nd Edition). Oxfordshire, UK, 504p.
13. Keshavarz, S., Peighambari, S., Zeinali Khanghah, H., Bihamta, M., & Hassandokht, M. (2019). Morphological variation of some capsicum (*Capsicum annuum* L.) lines using multivariate statistical analysis. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*(1), 129-140. http://doi.org/10.22059/ijhs.2018.263743.1500
14. Khomari, A., Mostafavi, K., & Mohammadi, A. (2017). Study of the relationships between yield and some important agronomic traits through path analysis and factor analysis in sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, *13*(1), 11-20. (In Persian with English abstract)
15. Kranthi Rekha, G. (2015). *Development of hybrids and their stability in chilli* (*Capsicum annuum* L.). Ph.D. Thesis. Dr. YSR Horticultural University. Venkataramannagudem, Andhra.
16. Lahbib, K., Bnejdi, F., & Gazzah, M. (2012). Genetic diversity evaluation of pepper (*Capsicum annuum* L.) in Tunisia based on morphologic characters. *African Journal of Agricultural Research*, *7*(23), 3413-17. http://doi.org/10.5897/AJAR11.2171
17. Madoşă, E., Sasu, L., Ciulca, S., Velicevici, G., Ciulca, EA., & Avadanei, C. (2010). Possibility of use of Romanian bell pepper (*Capsicum annuum* L. var grossum) local landraces in breeding process. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *38*(2), 56-60. https://doi.org/10.15835/nbha3824743
18. Mardanzadeh, D., Darvishzadeh, R., & Zahedi, B. (2019). Sequential path analysis based on yield and morpho-physiological characteristics in squash landraces from northwest of Iran. *Journal of Plant Productions*, *42*(1), 115-132. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22055/ppd.2019.15317.1244
19. Mohammadi, M., Saidi, M., & Khademi, O. (2018). Evaluation of effect of gibberellins and calcium spray in different growth stages on some qualitative and quantitative traits of sweet pepper. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *48*(4), 823-832. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22059/ijhs.2018.211788.1048
20. Morsali Aghajari, F., Darvishzadeh, R., & Gholami, G. (2020). The effect of salt stress on morphological traits and electrophoresis pattern of proteins in recombinant inbred lines population of oilseed sunflower derived from PAC2 × RHA266 cross. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(2), 583-600. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22077/escs.2019.2100.1517
21. Moscone, E.A., Scaldaferro, M.A., Grabiele, M., & Cecchini, N.M. (2007). *The evolution of chili peppers (Capsicum solanaceae) a cytogenetic perspective*. VI International Solanaceae Conference: Genomics Meets Biodiversity. Acta Horticulturae, 745, 137-170.
22. Munchi, A.D., Behera, T.K., & Singh, G. (2000). Correlation and path coefficient analysis in chilli. *Indian Journal of Horticulture*, *57*(2), 157-159.
23. Pandey, G., & Dobhal, V.K. (1993). Multivariate analysis in Chilli. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, *2*(1-2), 71-74.
24. Rego, E.R. (2009). A diallel study of yield components and fruit quality in chilli pepper (*Capsicum baccatum*). *Euphytica (Wageningen)*, *168*, 275-287. https://doi.org/10.1007/s10681-009-9947-y
25. Salvador, M.H. (2002). *Genetic resources of chilli (Capsicum spp.) in Mexico*. P.10-12. Proc. of the 16th Int. Pepper Conf, Tampico, Tamaulipas, Mexico, November 2002.
26. Sharma, V.K., Semwal, C.S., & Uniyal, S.P. (2010). Genetic variability and character association analysis in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Horticulture and Forestry*, *2*(3), 58–65. http://doi.org/10.5897/JHF.9000056
27. Shumbulo, A., Nigussie, M., & Alamerew, S. (2017). Correlation and path coefficient analysis of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes for yield and its components in Ethiopia. *Advances in Crop Science and*

Technology, *5*, 277. http://doi.org/10.4172/2329-8863.1000277
28. Siahpoosh, M., Emam, Y., & Saeedi, A. (2003). Genotypic variation, heritability, genotypic and phenotypic correlation coefficients of grain yield, its components and some morpho- physiological characters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Crop Science*, *2*(5). (In Persian with English abstract)
29. Soares, R.S., Silva, H.W da., Candido, W. dos. S., & Vale, L.S.R. (2017). Correlations and path analysis for fruit yield in pepper lines (*Capsicum chinense* L.). *Comunicata Scientiae*, *8*(2), 247-255. http://dx.doi.org/10.14295/CS.v8i2.1839.
30. Soltani, N. (2019). Comparison the effects of calcium lactate and putrescine on post-harvest quality of *Capsicum annuum*. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *49*(4), 973-979. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22059/ijhs.2017.240510.1312
31. Srinivas, J., Reddy, K.R., Saidaiah, P., Anitha, K., Pandravada, S.R., & Balram, M. (2020). Correlation and path analysis study in chilli (*Capsicum annuum* L.) genotypes. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, *21*(21), 1-11. http://doi.org/10.9734/irjpac/2020/v21i2130284
32. Thakur, S., Negi, R., & Mehta, D.K. (2019). Correlation and path coefficient studies in bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. grossum) under mid hill conditions of Solan District of Himachal Pradesh. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *8*(1), 1788-1796. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.190
33. Tilahun, T., Bezie, Y., Petros, Y., Dessalegn, Y., & Taye, M. (2022). Correlation and path coefficient analysis of green pod yield and yield attributing traits of chili (*Capsicum annuum* L.) genotypes in Ethiopia. *All Life, 15*(1), 203-210. http://doi.org/10.1080/26895293.2022.2037472
34. Valizadeh, M., & Moghadam, M. (2002). *Experimental Designs in Agriculture*. (Seventh edition). Pishtaz Elem Pub., Tabriz, Iran, 452 p. (In Persian)
35. Vidya, C., Jagtap, V.S., & Santhosh, N. (2018). Correlation and path coefficient analysis for yield and yield attributing characters in chilli (*Capsicum annum* L.) genotypes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(1), 3265-3268. http://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.390
36. Wright, S. (1921). Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, *20*, 557-595. http://doi.org/10.4236/am.2010.12011